

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



<b>(51) Internationale Patentklassifikation 6 :</b> <b>B23K 26/14, 26/06</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 99/56907</b> <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 11. November 1999 (11.11.99)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/CH99/00180 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 30. April 1999 (30.04.99) <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 198 19 429.3 30. April 1998 (30.04.98) DE <b>(71) Anmelder:</b> SYNOVA S.A. [CH/CH]; Parc Scientifique de l'EPFL, CH-1024 Ecublens (CH). <b>(72) Erfinder:</b> RICHERZHAGEN, Bernold; Chemin de l'Ochettaz 15b, CH-1015 St. Sulpice (CH). <b>(74) Anwälte:</b> ROSHARDT, Werner, A. usw.; Keller & Partner Patentanwälte AG, Zeughausgasse 5, Postfach, CH-3000 Bern 7 (CH).		<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> CA, CN, IN, KR, SG.  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>

**(54) Title:** MATERIAL SHAPING DEVICE WITH A LASER BEAM WHICH IS INJECTED INTO A STREAM OF LIQUID

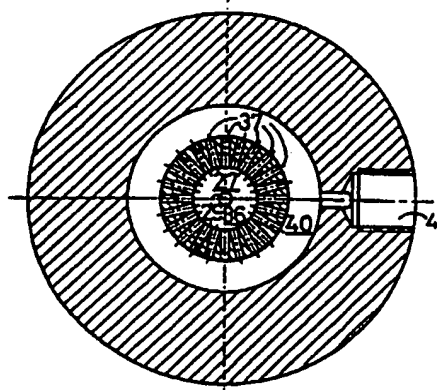
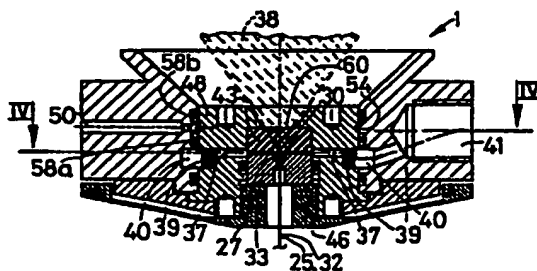
**(54) Bezeichnung:** MATERIALBEARBEITUNGSVORRICHTUNG MIT EINEM IN EINEN FLÜSSIGKEITSSTRAHL EINGEKOPPELTEN LASERSTRAHL

**(57) Abstract**

The invention relates to a method and device for shaping material of work pieces (45) using a laser beam which is injected into a stream of liquid (25). The liquid which is to be formed into a stream (25) by a nozzle channel (29) is fed to the nozzle channel opening (28) such that the flow does not swirl, especially without flow components which are tangential to the nozzle channel axis (32). The laser irradiation is focussed on the channel entry plane (30) and the liquid is fed to the channel opening (28) in such a way that a liquid retention space is avoided in the beam focussing ball (38) and in the immediate surroundings thereof.

**(57) Zusammenfassung**

Beim erfindungsgemässen Verfahren sowie bei der Vorrichtung zur Materialbearbeitung von Werkstücken (45) mit einem in einen Flüssigkeitsstrahl (25) eingekoppelten Laserstrahl wird die mit einem Düsenkanal (29) zu einem Strahl (25) zu formende Flüssigkeit zur Düsenkanalöffnung (28) strömungswirbelfrei, insbesondere ohne zur Düsenkanalachse (32) tangentielle Strömungskomponente zugeführt. Die Laserstrahlung wird auf die Kanaleingangsebene (30) fokussiert und die Flüssigkeit derart zur Kanalöffnung (28) geführt, dass im Strahlungsfokussierkegel (38) und dessen unmittelbarer Umgebung ein Flüssigkeitsstauraum vermieden wird.



# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Azerbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

5

10

15

**Materialbearbeitungsvorrichtung mit einem in einen Flüssigkeitsstrahl eingekoppelten Laserstrahl**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Materialbearbeitung gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie eine Materialbearbeitungsvorrichtung gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 4.

20 **Stand der Technik**

Eine Materialbearbeitung mit Laserstrahlung wird in vielfältigster Weise zum Schneiden, Bohren, Schweißen, Markieren und allgemein zur Materialabtragung eingesetzt. Damit ein Materialabtrag initiiert werden kann, muss eine vorgegebene Intensität der Strahlung auf der zu bearbeitenden Materialoberfläche erreicht werden. Diese hohe Strahlungsintensität wurde durch Fokussierung der Laserstrahlung im Fokuspunkt erreicht. Nachteilig  
25 hierbei ist jedoch die kleine axiale Ausdehnung des Fokuspunkts (Strahltaile), in der diese hohe Intensität erreicht wurde. Sollten tiefe Schnitte oder Bohrungen vorgenommen

werden, musste der Ort des Fokuspunktes sehr genau eingehalten oder sogar auch nachgeführt werden. Der Strahl verjüngt sich zum Fokuspunkt hin kegelförmig. D. h. insbesondere beim tiefen Schneiden musste beginnend auf der Oberfläche auch immer soviel Material abgetragen werden, dass der kegelförmige Strahl auch bis zum Bearbeitungsort vordringen konnte. Tiefe Schnitte oder Bohrungen mussten somit immer mit schrägen Seitenwänden angelegt werden.

Zur Vermeidung der Fokuspunkt-Nachführung und zur Vornahme schmaler Schnitte und Bohrungen mit annähernd senkrechten Seitenwänden wurde nun in der in der EP-A 0 515 983, der DE-A 36 43 284 und der WO 95/32834 vorgeschlagen, Laserstrahlung in einen auf das zu bearbeitende Werkstück gerichteten Flüssigkeitsstrahl als Lichtleiter einzukoppeln.

Bei der DE-A 36 43 284 wurde die Laserstrahlung mit einer Glasfaser zugeführt. Das Ende dieser Glasfaser wurde von einem Wasserstrahl, der auf das zu bearbeitende Werkstück gerichtet war, umspült. Die bekannte Vorrichtung hatte den Nachteil, dass der Durchmesser des Wasserstrahls niemals kleiner sein konnte als derjenige der die Laserstrahlung zuführenden Glasfaser. Ein weiterer Nachteil ergab sich durch ein Totwassergebiet unterhalb des Glasfaserendes, welches u.a. Störungen in der Wasserstrahlströmung erzeugte, was letztendlich zu dessen raschem Zertropfen führte.

Die EP-A 0 515 983 versuchte nun diese Nachteile zu vermeiden, in dem eine Optikeinheit mit einem wasserstrahlformenden Düsenstein konstruiert wurde. Vor der den Wasserstrahl formenden Düse befand sich eine Wasserstaukammer mit einem Wassereinlass und einer die Kammer gegenüber dem Düseneintritt abschliessenden Fokussierlinse zur Fokussierung der Laserstrahlung. Ort und Brennweite der Fokussierlinse waren derart gewählt, dass der Fokuspunkt der Laserstrahlung in der axialen Mitte innerhalb des Düsenkanals zu liegen kam. Es zeigte sich nun im Bearbeitungsbetrieb, dass die Düse durch die Laserstrahlung äusserst rasch beschädigt wurde, wodurch eine einwandfreie Strahlungsformung nicht mehr gegeben war.

Eine Verbesserung der Laserstrahleinkopplung in den Flüssigkeitsstrahl wurde in der WO 95/32834 vorgenommen, in dem der Fokuspunkt der einzukoppelnden Laserstrahlung in die Ebene der Düsenöffnung gelegt und die Wasserstaukammer vor der Düsen-

öffnung eliminiert wurde. Auch bei dieser Anordnung ergaben sich während des Materialbearbeitungsbetriebs Beschädigungen an der Düse.

### **Aufgabe der Erfindung**

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Materialbearbeitung sowie eine Materialbearbeitungsvorrichtung mit einem in einen Flüssigkeitsstrahl eingekoppelten Laserstrahl zu schaffen, mit dem bzw. bei der eine Materialbearbeitung mit einer langen Maschinenlaufzeit gewährleistet ist. Ein Bearbeitungsunterbruch soll nur nach vorgegebenen Serviceintervallen erfolgen. Eine nicht vorhersehbare Unterbrechung, insbesondere infolge einer Beschädigung des den Flüssigkeitsstrahl formenden Düsensteins, soll ausgeschlossen sein.

### **Lösung der Aufgabe**

Die Lösung der Aufgabe für das erfindungsgemässe Verfahren ist durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 und für die erfindungsgemässe Materialbearbeitungsvorrichtung durch die Merkmale des Patentanspruchs 4 beschrieben.

Erfindungsgemäss wird darauf geachtet, dass einerseits die in den Flüssigkeitsstrahl einzukoppelnde Strahlung in die Düseneintrittsebene des flüssigkeitsformenden Düsenkanals fokussiert wird und die Flüssigkeit zum Düseneintritt schnellfliessend (flüssigkeitsstauraumfrei) und flüssigkeitswirbelfrei zugeführt wird. Durch diese drei Forderungen zusammen wird eine entsprechende Ausgestaltung einer unten beschriebenen Optikeinheit erfüllt.

### **Ausführungsbeispiele der Erfindung**

Im folgenden werden Beispiele des erfindungsgemässen Verfahrens und der erfindungsgemässen Vorrichtung anhand von Figuren näher erläutert. Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem nachfolgenden Beschreibungstext. Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Optikeinheit der erfindungsgemässen Materialbearbeitungsvorrichtung,

Fig. 2 einen Längsschnitt durch die in Figur 1 dargestellte Optikeinheit mit einer vergrösserten Darstellung der Flüssigkeitszuführungen zum flüssigkeitsstrahlformenden Düsenstein,

Fig. 3 einen Längsschnitt durch den in Figur 2 dargestellten, in einer Düsenfassung gehaltenen Düsenstein,

Fig. 4 einen Querschnitt entlang der Linie IV - IV in Figur 2 und

Fig. 5 eine Vergrößerung zur Darstellung in Figur 3, welche insbesondere die Erzeugung und Führung des Flüssigkeitsstrahls im Düsenkanal zeigt.

Die in Figur 1 mit einem Querschnitt dargestellte Optikeinheit 1 der erfindungsgemässen Materialbearbeitungsvorrichtung ist mittels eines Strahlungsleiters 3 über einen Strahlungsleiterstecker 5 mit einer Laserstrahlungsquelle 6 verbunden. Die Strahlungsquelle 6 ist hier lediglich symbolisch dargestellt. Sie ist ein Hochleistungslaser wie beispielsweise ein Nd:YAG-Laser. Die aus dem Strahlungsleiter 3 im Stecker 5 austretende Strahlung 7 wird mit einem Kollimator 9 zu einem Strahl 10 kollimiert. Der Strahl 10 wird zu einer Strahlaufweitungseinheit 11 geführt. Mit der Strahlaufweitungseinheit 11 ist der Durchmesser des eintretenden Strahls 10 zu demjenigen des austretenden Strahls 13 veränderbar, d. h. aufweitbar. Für die Strahlaufweitung ist hier ein Durchmesserfaktor von zwei bis acht vorgesehen. Dieses Aufweitungsverhältnis erlaubt eine Variation der unten beschriebenen Strahlteile 15 (Durchmesser des Fokuspunktes) des Laserstrahls 13. Der Strahlaufweitungsfaktor der Strahlaufweitungseinheit ist motorisch durch Signale einer nicht dargestellten Verstelleinheit veränderbar („motorisierter Strahlaufweiter“). Der aufgeweitete Strahl 13 wird dann mit einem Umlenkspiegel 17 um 90° umgelenkt und mit einem weiteren, eine Verstelleinheit 19 aufweisenden Umlenkspiegel 21 auf eine Fokussieroptik 23 als Fokussiereinheit gelenkt. Die Wirkungsweise und Verwendung der Verstelleinheit 19 ist unten beschrieben.

Es sei darauf hingewiesen, dass der theoretische Brennpunkt der Fokussieroptik 23 nicht unbedingt mit der Strahlteile 15 des fokussierten Laserstrahls 13 zusammenfallen muss. Eine Abweichung beider Orte ist durch eine Strahldivergenz des Laserstrahls 13 gegeben, welche u. a. mit der Strahlaufweitungseinheit 11 beeinflussbar ist.

Zur Formung eines Flüssigkeitsstrahls 25 wird ein Düsenstein 27 mit einem Düsenkanal 29 verwendet. Die Fokussieroptik 23 und die Strahlaufweitungseinheit 11 sind derart eingestellt bzw. angeordnet, dass die Strahlteile 15 des fokussierten Strahles 13 in der Düsenkanaleingangsebene 30 der Düsenkanalöffnung 28 zu liegen kommt. Die Düsen-

kanaleingangsebene 30 setzt sich beidseits in die Oberfläche des Düsensteins 27 fort. Den unmittelbaren Bereich um den Eingang in den flüssigkeitsstrahlformenden Düsenkanal 29 herum zeigen die Figuren 2 bis 5. Den Düsenstein 27 zeigt in einer gegenüber Figur 2 nochmals vergrösserten Darstellung Figur 3. Der Düsenkanal 29 ist kreiszylindrisch ausgebildet. Der Düsenstein 27 ist aus einem für die Laserstrahlung (hier mit einer Wellenlänge von  $1,06\ \mu\text{m}$ ) transparentem und mechanisch hartem Material, wie beispielsweise Quarz. Er kann aber auch, da er äusserst klein ausgebildet ist, aus Diamant bestehen. Ein Düsenstein 27 aus Diamant hat gegenüber einem aus Quarz eine grössere Lebensdauer, wobei das Ende der Lebensdauer sich durch einen bereits nach kurzer Flüssigkeitsstrahlänge aufperlenden Flüssigkeitsstrahl 25 bemerkbar macht.

Der Düsenstein muss nicht unbedingt aus einem für die Laserstrahlung transparenten Material bestehen, um die Bedingungen der Totalreflexion an der Düsenkanalwand auszunutzen. Es kann auch aus einem nicht transparenten, strahlungsabsorbierenden Material bestehen, sofern die Düsenkanalwandung mit einer die Laserstrahlung reflektierenden Beschichtung versehen ist, welche abstrassivresistent gegenüber dem Flüssigkeitsstrahl sein sollte. Bei einem nicht transparenten Düsensteinmaterial sollte auch die Düsenoberfläche reflektierend beschichtet sein (Schutz bei Justagefehlern) sowie auch die Düsensteinunterseite (Schutz vor Strahlung, welche vom Werkstück oder der Plasmawolke auf dem Werkstück zurückgeworfen wird).

Der in Figur 3 dargestellte Düsenstein 27 hat eine ebene Oberfläche 30, zu der die Achse 32 des Düsenkanals 29 senkrecht verläuft. Der Rand 31 an der Düsenkanalöffnung 28 zwischen der Oberfläche 30 und der Kanalwand ist scharfkantig ausgebildet und weist bevorzugt einen Radius kleiner  $5\ \mu\text{m}$  auf. Dieser abgerundete Rand 31 ist eine von weiteren, unten beschriebenen Voraussetzungen zur Erzeugung eines Flüssigkeitsstrahls 25 mit einer grossen Flüssigkeitsstrahlänge. Er unterdrückt nämlich die Bildung von Flüssigkeitsverwirbelungen. Der Düsenstein 27 ist in eine Düsenfassung 33 eingesetzt. Der Übergang 34 zwischen Düsenfassung 33 und Düsenstein 27 ist derart ausgebildet, dass keine Stufe vorhanden ist. Eine Stufe würde ebenfalls Flüssigkeitswirbel erzeugen, welche sich in den mit dem Düsenkanal 29 gebildeten Flüssigkeitsstrahl 25 hinein fortsetzen würden. Der in Figur 3 dargestellte Düsenstein 27 hat einen Aussendurchmesser von 2 mm und eine Höhe von 0,9 mm. Eine Ausfertigung aus einem Diamanten hält sich bei dieser Grössenordnung noch in einem vertretbaren Kostenrahmen.

Der flüssigkeitsstrahlformende Düsenkanal 29 ist, wie bereits oben ausgeführt, kreiszylindrisch, hier beispielsweise mit einem Durchmesser von 150 µm und einer Länge von etwa 300µm ausgebildet. Die Länge des Düsenkanals 29 sollte nicht grösser als der doppelte Düsenkanaldurchmesser sein. An den Ausgang des Düsenkanals 29 schliesst sich eine kegelförmig erweiterte Öffnung 26 an. Der Kegelspitzenwinkel beträgt hier achtzig Grad. Der Innenmantel 35 dieses Kegels setzt sich stufenlos in die Düsenfassung 33 fort.

Die kegelförmige Ausbildung des Innenmantels 35 erleichtert das Aufbringen einer reflektierenden Beschichtung, stört den Flüssigkeitsstrahl in keiner Weise und verstärkt durch ihre Neigung das Reflexionsverhalten für eventuell aus dem Flüssigkeitsstrahl 25 infolge mechanischer Inhomogenitäten (Schockwelle, Verunreinigungen, welche trotz Filterungen durchgerutscht sind, ...) austretender Strahlung. Der Kegelwinkel ist so gross gewählt, dass aus dem Flüssigkeitsstrahl austretende Strahlung ihn überhaupt nicht oder nur unter einem sehr flachen Winkel trifft.

Die Flüssigkeitszuführung zum Düsenkanal 29 erfolgt über einen schmalen, scheibenförmigen Innenraum 36, dessen Höhe etwa dem halben Durchmesser des Düsenkanals 29 entspricht. Der Durchmesser des Innenraums 36 entspricht dem Durchmesser der Düsenfassung 33. In diesen Innenraum 36 münden radial zur Achse 32 des Düsenkanals 29 in einer sternförmigen Anordnung zwanzig im Querschnitt runde Zuleitungen 37, deren benachbarte Seitenwände beim Einmünden in den Innenraum 36 ineinander übergehen. Diese Anordnung der Zuleitungen 37 unterstützt eine wirbelfreie (radiale) Flüssigkeitszuführung zum Düsenkanal 27. An der Eingangsseite der Zuleitungen 37 ist ein druckverminderndes Filter 39 angeordnet. An dieses Filter 39 schliesst ein Ringraum 40 an, der über eine Versorgungsleitung 41 mit Flüssigkeit versorgt wird. Das Filter 39 dient zur Erzeugung eines gleichmässigen Flüssigkeitsdrucks in den zwanzig Zuleitungen 37, wodurch ein symmetrischer Flüssigkeitsfluss zum Düseneingang hin gegeben ist. Da die Versorgungsleitung 41 an nur einer Seite erfolgt, würden ohne Filter 39 die der Versorgungsleitung 41 benachbarten Zuleitungen 37 einen höheren Druck aufweisen als die gegenüberliegenden. Tangentiale Strömungskomponenten im Bereich der Düsenkanalöffnung 28 können sich somit nicht ausbilden. Damit die Laserstrahlung zur Düsen Eintrittsöffnung vordringen kann, ist der scheibenförmige Innenraum 36 mit einer für die verwendete Laserstrahlung transparenten Abdeckung 43 flüssigkeitsdicht abgedeckt.



Durch die geringe Höhe des Innenraumes 36 ist eine hohe Fließgeschwindigkeit der Flüssigkeit gegeben. Infolge der hohen Fließgeschwindigkeit ist eine Aufheizung der Flüssigkeit im Fokussierkegel 38 durch die sie durchdringende Laserstrahlung ausgeschlossen (bzw. stark vermindert). Der scheibenförmige Innenraum 36 ist aufgrund der  
5 oben beschriebenen Ausgestaltung derart, dass sich insbesondere im Strahlungsfo-  
kussierkegel 38 der Laserstrahlung kein Flüssigkeitsstauraum, der bevorzugt durch  
Strahlungsabsorption das Entstehen einer thermischen Linse begünstigen würde, bilden  
kann. Eine thermische Linse würde ein einwandfreies stabiles Fokussieren des Laser-  
strahl in die Mitte (Achse 32) der Düsenkanalöffnung 28 verunmöglichen. Das Vorhan-  
10 densein einer thermischen Linse würde zu einer schlechteren Fokussierung der Strah-  
lung führen, da die thermische Linse als Zerstreuungslinse wirkt. Die Laserstrahlung  
würde den Öffnungsrand der Düse und/oder die Düsenoberfläche treffen und somit be-  
schädigen. Ferner wäre die durch eine Aufheizung der Flüssigkeit gebildete thermische  
Linse nicht ortsstabil. Eine optimale Strahlungseinkopplung in den Flüssigkeitsstrahl 25  
15 wäre dann nicht mehr gegeben.

Durch die sternförmige (radiale) Anordnung der Zuführungen 37, einen druckmindernden  
Filter 39 zwischen dem Eingang der Zuführungen 37 und dem Ringraum 40, einem stu-  
fenlosen Übergang 34 im Strömungsbereich der Flüssigkeit zwischen Düsenstein 27 und  
Düsenfassung 33 sowie die geringe (Rundungsradius  $<5\mu\text{m}$ ) Abrundung des Rands 31  
20 am Flüssigkeitseintritt in die Düse ist erst eine wirbelfreie Strömung als Voraussetzung  
für einen Flüssigkeitsstrahl 25 grosser Strahllänge gegeben. Positiv auf die Erzeugung  
einer grossen Strahllänge wirken sich ferner eine Entgasung der Flüssigkeit sowie eine  
Entfernung von Partikeln aus der Flüssigkeit aus. Es muss ebenfalls darauf geachtet  
werden, dass die Flüssigkeitszuführung frei von Druckpulsationen ist. Die zylindrische  
25 Form des freien Flüssigkeitsstrahls ist nämlich instabil. Die Flüssigkeit versucht aufgrund  
ihrer Oberflächenspannung eine andere Form, nämlich die einer Kugel zu erreichen. Der  
Flüssigkeitsstrahl zerfällt somit nach einer gewissen Ausbreitungslänge in einzelne  
Tropfen. Eine infinitesimal kleine radiale Störung des Flüssigkeitsstrahls bei seiner For-  
mung verstärkt sich rasch, so dass es zu Strahleinschnürungen kommen kann, welche  
30 den Strahl zertropfen lassen. Die den Strahl umgebende Luft, welche durch Reibung  
mitgerissen wird, verstärkt zudem diesen Effekt. Nur durch die oben aufgeführten Mass-  
nahmen zur Durchführung eines störungsfreien Flüssigkeitszulaufs kann ein Flüssig-  
keitsstrahl grosser Strahllänge erzeugt werden.

Es hat sich ferner überraschend gezeigt, dass beim Auftreffen des Flüssigkeitsstrahls 25 auf eine noch unbearbeitete Werkstückoberfläche in diesem eine Schockwelle nach oben zu laufen beginnt. Durch diese Schockwelle ist der Flüssigkeitsfluss nicht mehr laminar und ein Teil der im Eingang der Düsenöffnung in den Flüssigkeitsstrahl 25 eingekoppelte Laserstrahlung tritt aus dem Flüssigkeitsstrahl 25 infolge von durch die Schockwelle erzeugten Unregelmässigkeiten auf der Manteloberfläche des Flüssigkeitsstrahls aus. Diese austretende Strahlung würde den Düsenstein 27 treffen, durch ihn hindurch gehen und dann auf die Metallwandung der Düsenfassung 33 stossen. Hier würde dann unter einer örtlichen Erwärmung die Strahlung absorbiert werden. Hierbei könnte es zum Aufschmelzen bzw. Verdampfen des Materials der Düsenfassung 33 kommen, was eine Zerstörung der Düsenfassung 33 sowie des Düsensteins 27 nach sich ziehen würde. Zur Verhinderung dieses Vorgangs ist die Innenwand 35 kegelförmig ausgebildet und mit einer reflektierenden Beschichtung versehen. Die infolge von Unregelmässigkeiten in der Flüssigkeitsstrahlmanteloberfläche austretende Laserstrahlung wird hier somit reflektiert und kann nicht durch den Düsenstein 27 bis zu absorbierenden Materialien vordringen. Ist das Werkstück 45 durchbohrt bzw. durchschnitten, entstehen keine oder Schockwellen mit nur minimaler Energie.

Der Düsenstein 27, obwohl in der hier beschriebenen Anordnung langlebig, ist leicht auswechselbar angeordnet. Zum Auswechseln muss lediglich ein Einsatz 46 herausgeschraubt werden.

Zur Dichtigkeitskontrolle hat der die transparente Abdeckung 43 aufnehmende Einsatz 48 eine an seinem äusseren Mantel umlaufende Nut 54, welche in eine Kontrollbohrung 50 mündet. Befindet sich nämlich in der Kontrollbohrung 50 Flüssigkeit, so ist der Dichtring 58a undicht geworden. Würde nun auch noch der Dichtring 58b undicht, so könnte Flüssigkeit auf die Oberfläche 60 der transparenten Abdeckung 43 gelangen, was zu einer starken Beeinträchtigung in der Fokussierung und Führung des Laserstrahls führen würde. Um dies zu vermeiden, werden die Dichtringe 58a und 58b immer dann ausgetauscht, wenn in der Kontrollbohrung 50 Flüssigkeit registriert wird.

Unterhalb des zu bearbeitenden Werkstücks 45 ist ein Kraftsensor 47 angeordnet. Die Lage des Kraftsensors 47 ist derart gewählt, dass er ein maximales elektrisches Signal an eine Steuerungseinrichtung 49 abgibt, wenn er voll vom Flüssigkeitsstrahl 25 (ohne Ablenkung) getroffen wird. Der Kraftsensor 47 ist in der geometrischen Achse 32 des

Flüssigkeitsstrahl 25 angeordnet. Trifft der Flüssigkeitsstrahl 25 mit eingekoppeltem Laserstrahl auf ein noch unbearbeitetes Werkstück 45, so ist kein Signal vorhanden, da das Werkstück 45 erst vom Strahl 25 durchbohrt werden muss. Ist das Werkstück 45 bereits durchbohrt oder hat es einen Einschnitt durch den der Strahl 25 hindurchtritt, so trifft der Strahl 25 bei bewegtem Werkstück 45 auf die Schlitzseiten- bzw. Bohrlochwand. In diesem Fall trifft nur noch ein Teil des Strahls 25 den Kraftsensor 47. Das an die Steuerungseinrichtung 49 abgegebene Signal ist kleiner als bei voll auftreffendem Strahl 25. Mit dem Kraftsensor 47 ist somit der Grad einer Materialabtragung feststellbar.

Die Steuerungseinrichtung 49 ist ferner mit einer Verschiebeeinrichtung des Werkstücks 45 verbunden. Die Verschiebeeinrichtung ist in Figur 1 lediglich symbolisch durch zwei Doppelpfeile in die horizontalen Richtungen x und y 51a und 51b angedeutet, welche eine ebene, zweidimensionale Verschiebemöglichkeit andeuten sollen. Je nach ermitteltem Wert des Kraftsensors 47 steuert nun die Steuerungseinrichtung 49 die Verschiebegeschwindigkeit des Werkstücks 45 nach einem vorgegebenen Schnittmuster in die beiden Richtungen 51a und 51b. Mit dem Kraftsensor 47 kann somit der Vorschub des zu bearbeitenden Werkstücks 45 energieoptimiert geregelt werden, in dem immer dann das Werkstück 45 verschoben wird, wenn eine ausreichende Materialabtragung erreicht worden ist.

Die Steuerungseinrichtung 49 ist ferner mit der Strahlungsquelle 6 verbunden. Es ist somit auch die Laserausgangsleistung in Abhängigkeit des Messwertes des Kraftsensors und der Werkstückverschiebegeschwindigkeit einstellbar. Wird bei einem gepulsten Laser beispielsweise ein Schrittmodus zur Werkstückverschiebung verwendet, so gibt der Laser an einer Stelle mehrere Pulse ab, bevor das Werkstück 45 um einen Schritt weiterbewegt wird. Der Schrittmodus kann beispielsweise mit einer Schrittfolgefrequenz von 100 Hz erfolgen.

Neben der bereits oben erläuterten Strahlführung des Laserstrahls hat die Optikeinheit 1, wie in Figur 1 zu sehen ist, Mittel zur optimalen Justage und Überwachung der Lage der Laserstrahltaile (Fokuspunkt der Strahlung) in Bezug auf die Düseneingangsöffnung bzw. die Achse 32 des Düsenkanals 29. Dem aufgeweiteten Laserstrahl 13 wird hierzu die Strahlung 52 einer Weisslichtquelle 53 deckungsgleich überlagert. Dies erfolgt mit dem Umlenkspiegel 17. Der Umlenkspiegel 17 reflektiert die Laserstrahlung vollständig, transmittiert aber die Weisslichtstrahlung 52 der hinter ihm liegenden Weisslichtquelle 53.

Die Strahlung der Quelle 53 wird zusammen mit der Laserstrahlung über den Umlenkspiegel 21 in die Fokussiereinheit 23 geführt und bei richtiger optischer Ausrichtung in der Düseneingangsebene 30 am Ort der Achse 32 fokussiert. Der Umlenkspiegel 21 ist für die Weisslichtstrahlung 52 teildurchlässig ausgebildet.

- 5 Zur Überprüfung der richtigen Strahljustage wird ohne Laserstrahl nur mit der Strahlung der Quelle 53 gearbeitet. Ist eine Fehljustage vorhanden, beleuchtet die mit der Fokussiereinheit 23 fokussierte Weisslichtstrahlung den Düsenrand 31 bzw. dessen Umgebung. Der Oberflächenumgebungsbereich der Düsen Eintrittsöffnung wird mit einer Videokamera 55 über ein Teleskop 56 und den Umlenkspiegel 21, der für die Weisslichtstrahlung teildurchlässig ist, betrachtet. Das Weisslicht erfährt beim Durchgang durch den Umlenkspiegel 21 infolge dessen Dicke eine Strahlversetzung. Diese Strahlversetzung wird durch eine planparallele Glasplatte 57 korrigiert.

- Der Umlenkspiegel 21 ist durch eine Verstelleinheit 19 verkipppbar. Mit den Verstellelementen wird nun der Umlenkspiegel 21 derart verkippt, dass der Fokuspunkt des Weisslichtstrahls symmetrisch zum Ort der Kanalachse 32 zu liegen kommt.

- Um das zu erreichen, geht man wie folgt vor: Der Umlenkspiegel 21 wird solange verkippt, bis am Düsenkanalrand 31 ein Strahlungsreflex feststellbar ist, anschliessend wird in die entgegengesetzte Richtung unter Messung des Verkippwinkels ( $\cong$  Verschiebeweg des Strahls auf der Düsenkanalöffnung) verkippt, bis am gegenüberliegenden Düsenkanalrand 31 ebenfalls ein Strahlungsreflex gleicher reflektierter Intensität feststellbar ist, danach erfolgt eine erneute Rückkippbewegung mit dem halben Kippwinkel. Der Fokuspunkt liegt nun in einer Ebene, welche die Düsenkanalachse 32 beinhaltet. Zur Ausrichtung auf den Ort der Kanalachse 32 wird nun senkrecht zur vorhergehenden Verkipprichtung eine weitere analoge Strahlachseneinstellung vorgenommen.

- 25 Auf die Weisslichtquelle 53 kann verzichtet werden, wenn der Umlenkspiegel 21 geringfügig transparent (etwa 2%) für die Strahlung der Laserquelle 6 gemacht wird. Auch muss dann das Fernrohr sowie die Glasplatte 57 auf die Laserstrahlung ausgelegt und entspiegelt werden. Die Videokamera 55 muss mit einem Chip versehen werden, der für die Laserstrahlung empfindlich ist. Bei einer Fehljustage wird dann die Laserstrahlung vom Düsenrand bzw. dessen Umgebung reflektiert. Die reflektierte Strahlung wird dann über das Fernrohr mit der Videokamera 55 betrachtet und eine Einstellung über die oben erwähnte Verstelleinheit 19 und die Strahlauflösungseinheit 11 vorgenommen. Um Be-

schädigungen am Düsenkanal und der Düsenoberfläche zu vermeiden, wird die Justage mit verminderter Laserleistung vorgenommen. Da sich die Laserstrahleigenschaften bei hohen Strahlintensitäten gegenüber denjenigen bei kleinerer Leistung ändern können, beginnt man die Einstellung des Umlenkspiegels 21 und eventuell der Strahlaufweitungseinheit 11 unter kontinuierlicher Steigerung der Laserleistung.

Zur Überprüfung der zentrischen Einstellung kann nun die Ausgangslinse der Strahlaufweitungseinheit 11 derart verstellt werden, dass der Durchmesser der Strahltaile des Laserstrahls 13 erhöht wird, bis der Düsenkanalrand 31 (d.h. die Düsenkanalöffnung 28) gleichmässig beleuchtet ist. Nur bei einer gleichmässigen Beleuchtung ist vorher eine zentrische Ausrichtung erreicht worden. Die Ausgangslinse der Strahlaufweitungseinheit 11 wird nun in entgegengesetzter Richtung verschoben, bis erneut eine gleichmässige Düsenöffnungsrandbeleuchtung eintritt. Die Zwischenstellung ergibt dann eine Einstellung für eine optimale Fokussierung auf die Düsenkanaleingangsebene, wobei der fokussierte Strahl symmetrisch zur Kanalachse 32 liegt.

Als Flüssigkeit für den Flüssigkeitsstrahl kann bei Verwendung eines Nd:YAG-Lasers Wasser verwendet werden. Wasser hat eine geringe Strahlungsabsorption bei  $1,06\ \mu\text{m}$ . Diese geringe Absorption kann jedoch schon zur Bildung thermischer Linsen vor dem Düseneingang ausreichen. Man verwendet deshalb bei bestimmten Anwendungen bevorzugt ein Silikonöl insbesondere aus der Gruppe der Polymethylsiloxane.

Wird als Flüssigkeit Wasser verwendet, so sollte eine Laserstrahlung verwendet werden, welche eine Absorption von weniger als  $0,2\ \text{cm}^{-1}$ , vorzugsweise von weniger als  $0,15\ \text{cm}^{-1}$  hat. Wird eine Strahlung mit einer höheren Absorption verwendet, so wird im Flüssigkeitsstrahl zuviel Strahlungsleistung absorbiert. Bei einer hohen Strahlungsabsorption in der Flüssigkeit können Verdampfungseffekte eintreten. Es kann dann auch beispielsweise die Ausbildung der thermischen Linse im Fokuspunkt vor dem Düseneintritt auch bei einer Strömungsoptimierung nicht ausreichend unterdrückt werden. Niedrige Absorptionswerte bei Wasser als verwendete Flüssigkeit ergeben sich bei Strahlungen im Wellenlängenbereich von 150 nm bis 1100 nm, bevorzugt von 190 nm bis 920 nm und zwischen 1040 nm und 1080 nm (im Bereich um 1000 nm ist eine Absorptionsspitze vorhanden). Es können somit bevorzugt Diodenlaser, YAG-Laser, frequenzverdoppelte YAG-Laser, Excimerlaser und Kupferdampfaser eingesetzt werden. Ein YAG-Laser hat z.B.

den Vorteil, dass ausgereifte, kommerziell erhältliche Einheiten erhältlich sind; auch lassen sich mit ihnen hohe mittlere Leistungen erreichen.

Die Strahlung kann kontinuierlich oder gepulst sein. Bei einer gepulsten Strahlung kann die Flüssigkeit mit dem oben erläuterten Verfahren erzeugte Schnittkanten abkühlen.

- 5 Auch wird Wärme, erzeugt durch absorbierte Strahlung im Flüssigkeitsstrahl, abgeführt. Es können somit, da Wasser eine sehr hohe Wärmekapazität hat, hohe Strahlungsleistungen gepulst in den Flüssigkeitsstrahl eingekoppelt werden. Es werden bei der Verwendung eines Nd:YAG-Lasers und Wasser als Flüssigkeit bis zu 20 kW Pulsleistung bei Pulslängen von 20 bis 500  $\mu$ s, einer mittleren Leistung von 600 W und einer Pulsrate bis  
10 5 kHz eingekoppelt.

Es können aber auch gütegeschaltete Nd:YAG-Laser (Q-switched YAG) mit Pulslängen vom typisch 50 bis 250 ns bei einer mittleren Leistung von 20 bis 120 W und einer Pulsrate von bis zu 60 kHz verwendet werden. Auch eine Verwendung von Moden gekoppelten Lasern mit Pulslängen im Femtosekundenbereich ist möglich.

- 15 Kontinuierlich strahlende Laser (z.B. cw YAG) sind ebenfalls einsetzbar. Hier wird jedoch die mittlere Leistung durch die fehlende Strahlungsunterbrechung begrenzt. Es können dann nur etwa 700 W Strahlungsleistung eines Nd:YAG-Lasers in einen 80  $\mu$ m dicken Wasserstrahl eingekoppelt werden. Bei höheren Laserleistungsdichten würde sich das Wasser durch die Strahlungsabsorption so stark erwärmen, dass ab einer gewissen  
20 Strahllänge Verdampfung beginnen würde. Hierdurch würde dann ein Vertropfen des Strahls beginnen; eine einwandfreie Strahlungsführung wäre nicht mehr gegeben.

- Der oben beschriebene Düsenstein 27 wurde aus Quarz oder Diamant hergestellt, also aus einem für die Laserstrahlung transparenten Material. Der Düsenausgang sowie auch die anschliessende Wandung der Düsenfassung 33 wurden kegelförmig ausgebildet und  
25 für die Laserstrahlung verspiegelt. Man kann nun auch den Düsenstein 27 aus einem die Laserstrahlung stark reflektierenden Material herstellen. Für eine Laserstrahlung von 1,06  $\mu$ m kann ein Düsenstein aus Gold verwendet werden. Da reines Gold zu weich ist, müssen Spuren von Kupfer und Silber beigemischt werden, um eine Härte von 150 bis 225 HV zu erreichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Materialbearbeitung von Werkstücken (45) mit einem in einen Flüssigkeitsstrahl (25) eingekoppelten Laserstrahl, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mit  
5 einem Düsenkanal (29) zu einem Strahl (25) zu formende Flüssigkeit zur Düsenkanalöffnung (28) strömungswirbelfrei, insbesondere ohne zur Düsenkanalachse (32) tangentielle Strömungskomponente zugeführt, die Laserstrahlung auf die Kanaleingangsebene (30) fokussiert und die Flüssigkeit derart zur Kanalöffnung (28) geführt wird, dass im Strahlungsfokussierkegel (38) und dessen unmittelbarer Umgebung ein  
10 Flüssigkeitsstauraum vermieden wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Vorhandensein eines Flüssigkeitsstrahls (25) am Ort einer Verlängerung der Düsenkanalachse (32) unterhalb des Werkstücks (45) detektiert wird und erst bei einer Detektion das Werkstück (45) verschoben und/oder die einzukoppelnde Laserleistung verändert wird.  
15
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Düsenkanalöffnung (28) und ihr Randbereich optisch abgebildet wird, die Strahlachse des auf die Kanaleingangsebene fokussierten, eine nicht materialbearbeitende Energie aufweisenden Laserstrahls oder eines deckungsgleich mit dem Laserstrahl verlaufenden  
20 Beleuchtungsstrahls parallel zur Düsenachse (32) verschoben wird, bis am Düsenrand ein Strahlungsreflex feststellbar ist, anschliessend in entgegengesetzter Richtung eine Strahlachsenbewegung unter Messung des Verschiebewegs vorgenommen wird bis am gegenüberliegenden Düsenrandbereich ein Strahlungsreflex gleicher reflektierter Intensität feststellbar ist, danach eine erneute Rückbewegung mit dem halben Verschiebeweg vorgenommen und anschliessend senkrecht zu dieser Verschieberichtung ebenfalls parallel zur Düsenachse (32) eine weitere analoge Strahlachseneinstellung vorgenommen wird, um den Laserstrahl auf den flüssigkeitsstrahlformenden Düsenkanal (29) mittig auszurichten.  
25

4. Materialbearbeitungsvorrichtung zur Bearbeitung von Werkstücken (45) gemäss einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 mit einer Laserstrahlungsquelle (6) und einem mittels eines Düsenkanals (29) eines Düsensteins (27) geformten Flüssigkeitsstrahl (25), in den mit einer optischen Fokussiereinheit (23) der Laserstrahl der Laserquelle (6) eingekoppelt und in diesem geführt ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fokussiereinheit (23) in Bezug auf die Eintrittsöffnung (28) des Düsenkanals (29) derart angeordnet ist, dass der Fokuspunkt der Laserstrahlung in der Ebene (30) der Düsenöffnung (28) liegt sowie die Flüssigkeitszuführung (36, 37, 39, 40) zur Düsenöffnung (28) derart ausgebildet ist, dass keine Flüssigkeitswirbel im Bereich der Düsenöffnung (28) und des Düsenkanals (29) auftreten, und der vom Fokussierkegel (38) durchstrahlte bzw. durchstrahlbare Flüssigkeitszuführungsbereich und dessen unmittelbare Umgebung flüssigkeitsstauraumfrei ausgebildet sind.
5. Materialbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 4, **gekennzeichnet durch** einen die Düsenkanalöffnung (28) umgebenden scheibenförmigen Vorraum (36) mit mehreren in ihn radial einmündenden Flüssigkeitszuleitungen (37), wobei die Höhe des Vorraums (36) dem Düsenkanalradius entspricht, um auch im Vorbereich der Düsenkanalöffnung (28) zur Vermeidung eines Flüssigkeitsstauraums eine Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit zu haben, welche nur geringfügig kleiner als im Düsenkanal (29) ist, sowie die Seitenwände der Flüssigkeitszuleitungen (37) am Ort der Einmündung in den Vorraum (36) ineinander übergehen und insbesondere die Flüssigkeitszuleitungen (37) strahlenförmig angeordnet sind, wobei bevorzugt die Achsen benachbarter Flüssigkeitszuleitungen (37) jeweils gleiche Zentriwinkel haben, damit die zur Düsenkanalöffnung (28) strömende Flüssigkeit in Bezug auf die Düsenkanalachse (32) keine tangentialen Strömungskomponenten erhält.
6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **gekennzeichnet durch** eine möglichst kurze Düsenkanallänge, welche bevorzugt kleiner als der doppelte Düsenkanaldurchmes-



ser ist, und der Düsenkanalausgang (26) einen konisch ausgebildeten Ausgangsteil hat, dessen Öffnungswinkel grösser ist als eine mögliche aus dem Flüssigkeitsstrahl (25) durch eventuelle Instabilitäten austretende Teilstrahlung der eingekoppelten Laserstrahlung und bevorzugt bei einer Laserstrahlung mit einer Wellenlänge im Bereich von 150 nm bis 1100 nm, insbesondere im Bereich von 190 nm bis 920 nm und 1040 nm bis 1080 nm grösser als sechzig Grad, insbesondere achzig Grad ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der als Kegel (35) ausgebildete Düsenausgang (26) für die Laserstrahlung reflexionsbeschichtet ist und bevorzugt der Düsenstein (27) bei einer Wellenlänge der verwendeten Strahlungsquelle im Bereich von 150 nm bis 1100 nm, vorzugsweise im Bereich von 1040 nm bis 1080 nm aus Quarz, insbesondere aus Diamant ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Düsenstein (27) aus einem die Laserstrahlung stark reflektierenden Material ist.

9. Vorrichtung insbesondere nach einem der Ansprüche 4 bis 8, **gekennzeichnet durch** einen in Verlängerung der Düsenkanalachse (32) unterhalb des Düsenausgangs angeordneten Kraftsensor (47), über dem das zu bearbeitende Werkstück (45) anbringbar ist, wobei der Sensor (47) derart ausgebildet ist, dass er beim Auftreffen des Flüssigkeitsstrahls (25) ein Signal abgibt, damit feststellbar ist, wann das Werkstück (45) vom den Laserstrahl führenden Flüssigkeitsstrahl (25) annähernd in Düsenkanalachsenrichtung durchdrungen worden ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 9, **gekennzeichnet durch** eine Flüssigkeitszufuhrereinheit, welche Flüssigkeitsdruckpulsationen der zuzuführenden Flüssigkeit zum Düsen Eintritt eliminiert, bevorzugt die Flüssigkeit entgast und insbesondere aus dieser Partikel entfernt.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 10, **gekennzeichnet durch eine Betrachtungseinheit (21, 57, 56, 55) der Düsenkanalöffnung (28) und deren Umgebung sowie eine Verstelleinheit (19, 21) zur Verschiebung des auf die Düsenkanalöffnung (28) fallenden fokussierten Laserstrahls (13) derart, dass er mittig in der Öffnung (28) zu liegen kommt.**

1/2

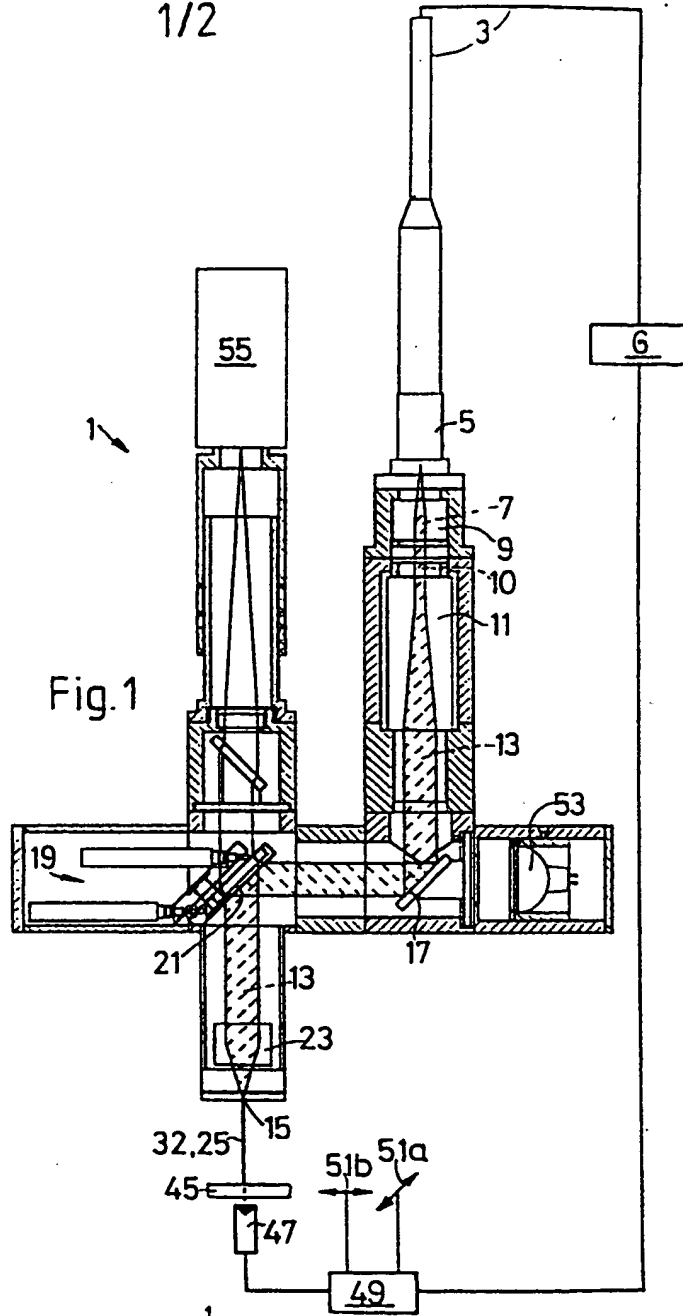
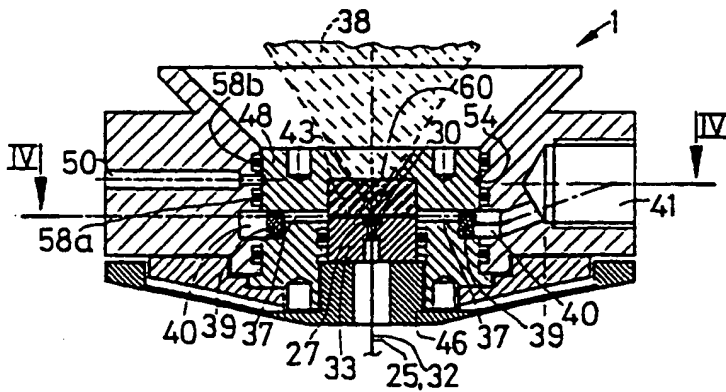


Fig. 2



2/2

Fig. 4

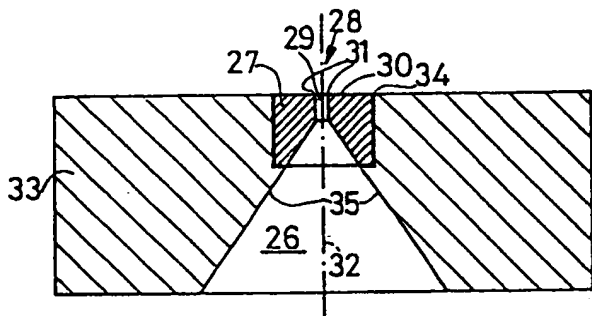
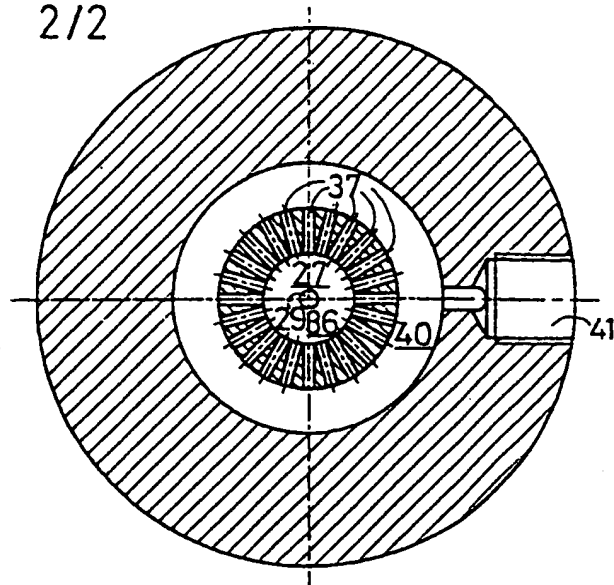
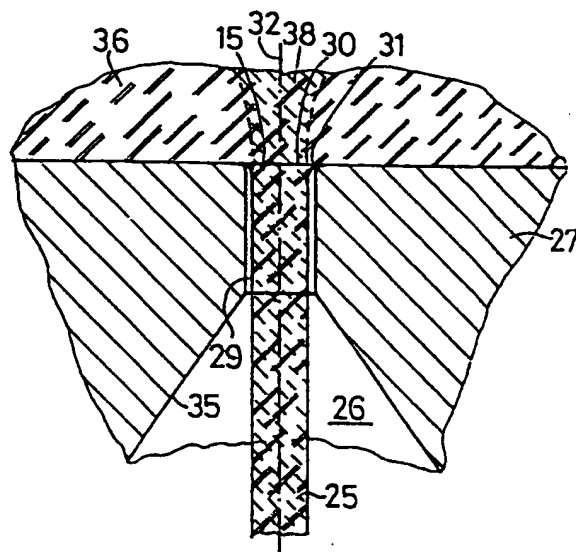


Fig. 3

Fig. 5



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/CH 99/00180

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 6 B23K26/14 B23K26/06		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 B23K		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 95 32834 A (RICHERZHAGEN BERNOLD) 7 December 1995 (1995-12-07) cited in the application page 5, line 19 - line 25 page 13, line 22 - line 29 page 14, line 29 - line 32 page 13, line 37 figure 3	1,4-8
P,A	US 5 773 791 A (KUYKENDAL ROBERT) 30 June 1998 (1998-06-30) column 3, line 21 - line 24	1,4
A	EP 0 515 983 A (LASAG AG) 2 December 1992 (1992-12-02) cited in the application column 8, line 31 - line 53; figure 2 — -/-	1-11
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.</span> </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"A" document member of the same patent family</p> </div> </div>		
Date of the actual completion of the international search  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">27 July 1999</div>		Date of mailing of the international search report  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">05/08/1999</div>
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">Pricolo, G</div>

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int ernational Application No

PCT/CH 99/00180

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 36 43 284 A (AESCULAP WERKE AG) 30 June 1988 (1988-06-30) cited in the application figure 1	1,4

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/CH 99/00180

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9532834 A	07-12-1995	DE 4418845 C DE 19518263 A EP 0762947 A JP 10500903 T US 5902499 A	28-09-1995 07-12-1995 19-03-1997 27-01-1998 11-05-1999
US 5773791 A	30-06-1998	NONE	
EP 0515983 A	02-12-1992	FR 2676913 A	04-12-1992
DE 3643284 A	30-06-1988	AT 66636 T DE 3772578 A WO 8804592 A EP 0338005 A JP 7112634 B US 4952771 A	15-09-1991 02-10-1991 30-06-1988 25-10-1989 06-12-1995 28-08-1990

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int: Jonaies Aktenzeichen

PCT/CH 99/00180

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> IPK 6 B23K26/14 B23K26/06		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 6 B23K		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 95 32834 A (RICHERZHAGEN BERNOLD) 7. Dezember 1995 (1995-12-07) in der Anmeldung erwähnt Seite 5, Zeile 19 - Zeile 25 Seite 13, Zeile 22 - Zeile 29 Seite 14, Zeile 29 - Zeile 32 Seite 13, Zeile 37 Abbildung 3	1,4-8
P,A	US 5 773 791 A (KUYKENDAL ROBERT) 30. Juni 1998 (1998-06-30) Spalte 3, Zeile 21 - Zeile 24	1,4
A	EP 0 515 983 A (LASAG AG) 2. Dezember 1992 (1992-12-02) in der Anmeldung erwähnt Spalte 8, Zeile 31 - Zeile 53; Abbildung 2	1-11
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		
<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche  27. Juli 1999		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts  05/08/1999
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2260 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  Pricolo, G



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH 99/00180

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>DE 36 43 284 A (AESCULAP WERKE AG)  30. Juni 1988 (1988-06-30)  in der Anmeldung erwähnt  Abbildung 1</p>	1,4

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH 99/00180

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9532834 A	07-12-1995	DE 4418845 C DE 19518263 A EP 0762947 A JP 10500903 T US 5902499 A	28-09-1995 07-12-1995 19-03-1997 27-01-1998 11-05-1999
US 5773791 A	30-06-1998	KEINE	
EP 0515983 A	02-12-1992	FR 2676913 A	04-12-1992
DE 3643284 A	30-06-1988	AT 66636 T DE 3772578 A WO 8804592 A EP 0338005 A JP 7112634 B US 4952771 A	15-09-1991 02-10-1991 30-06-1988 25-10-1989 06-12-1995 28-08-1990